doi:10.13866/j.azr.2019.01.24

近 56 a 新疆北部地区气候变化特征①

张 扬， 楚新正， 杨少敏， 郭 超
（新疆师范大学地理科学与旅游学院，新疆 乌鲁木齐 830054）

摘 要：根据新疆北部 40 个站点 1961—2016 年逐日气温、降水数据，采用数理统计、倾向率法、Mann-Kendall 突变检验和小波分析等方法，研究北疆地区近 56 a 气候变化特征、变化趋势以及变化的空间差异。结果表明：在研究时段内，气候总体呈气温升高、降水量增加的暖湿化趋势，年平均气温以 0.34 ℃·$(10a)^{-1}$ 速率上升，年降水量递增速率 12.05 mm·$(10a)^{-1}$；Mann-Kendall 突变检验显示，气温在 1991 年发生突变后升高，降水量 1987 年出现突变后逐渐增多；年平均气温变化表现出 6 a、14 a 和 28 a 周期性规律，降水量变化有 4 a、12 a 和 22 a 的规律；在空间上，气温增速东西大于南北，降水量增量山区多于平原和盆地，西部多于东部。

关键词：气候变化；线性趋势分析；M-K 突变检验；Morlet 小波分析；混合插值；新疆北部

气候是人类社会生存的根本要素之一，气候的变化直接影响着人类的健康和社会发展。IPCC 于 2013 年公布的第五次评估报告认为，气候系统正经历着剧烈变化，全球几乎所有地区都经历了升温过程[1]，变暖最快的区域为北半球中纬度地区[2]。全球气候变暖，给自然界带来一系列的影响，诸如大范围雪冰融化、全球海平面上升等许多连锁效应。在此背景下，我国气候也发生显著的变化。20 世纪以来中国地表年平均气温升高了 0.5～0.8 ℃，略高于同期的全球平均值[3-4]，其中 20 世纪 80、90 年代东亚是全球增温速率最高的地区[5]。我国西北、华北、东北等大部分地区均表现出较为显著的增温趋势，同一区域中增温幅度并非完全相同。如秦岭以南大部分地区，增温幅度和范围没有北方地区表现得明显[6]。

新疆位于我国西北内陆地区，远离海洋，高山环抱，因而降水稀少，且蒸发过程强烈，光热资源丰富，温差较大，属典型的温带大陆性干旱气候区，生态环境也极为脆弱[7]。新疆北部在“一带一路”国内段核心区社会经济发展中起着至关重要的作用。气温、降水是区域气候的主要构成要素，对气候变化的响应也是最为明显的。对于北疆地区的研究主要集中在南北疆气候对比[8]以及风速变化[9]或气候变化对棉花等农作物[10]的影响，并且使用的数据站点较少，以逐月实测数据为准。但本文气象站点的分布较为全面，且以逐日实测数据为准，能够较为具体地研究北疆气候的时空变化规律，以期为北疆地区中、小尺度内气候预测，农牧业的发展以及采取适时有效的措施应对气候变化、极端气候事件等提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于 43°23′～49°10′N，79°57′～91°32′E，面积约为 5.95×10^5 km^2。属天山、阿尔泰山之间的新疆北部地区。海拔高度 154～6 038 m，地形以山地和盆地为主，地势中间、东部低，周围高。在行政区划上涵盖乌鲁木齐市以及阿勒泰、塔城、昌吉、伊犁、博尔塔拉等地、州、市。气候上属于典型的温带大陆性干旱和半干旱气候，冬夏季温差大，全年降水稀少，区域内年平均气温 -4～9 ℃，年平均日较差 12～14 ℃，≥10 ℃的积温为 3 000～4 000 ℃，年平均降水量 200～300 mm，年平均蒸发量 1 500～3 000 mm，无霜期 140～186 d，年太阳总辐射量 5 600～6 000 MJ·m^{-2}[11]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文选取中国气象科学数据共享服务网站发布的北疆地区地面气象观测站（图1）1961—2016年

① **收稿日期**：2018-05-23； **修订日期**：2018-07-24
基金项目：国家自然科学基金项目（41261046）资助
作者简介：张扬（1992-），女，硕士研究生，主要研究方向为干旱区生态. E-mail:605407890@qq.com
通讯作者：楚新正. E-mail:xzchu@sina.cn

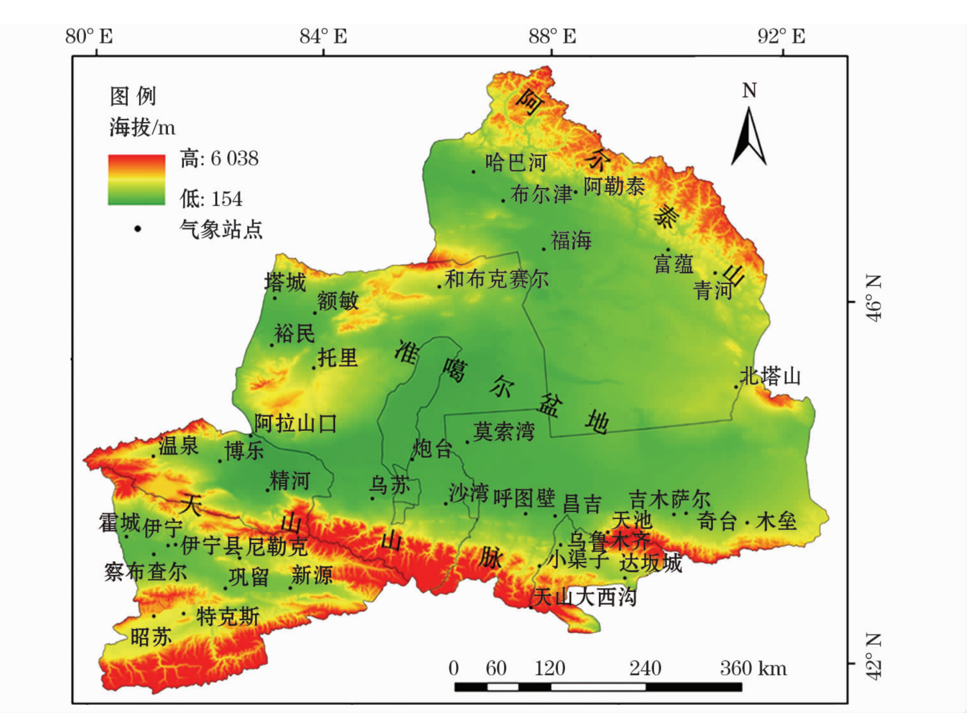


图 1　北疆地区气象站点分布示意图

Fig. 1　Distribution of meteorological stations in North Xinjiang

逐日气温和降水实测数据,考虑到气象台站观测中缺测和误测等问题,笔者选取数据质量较好的 40 个站点作为研究对象,经过严格的质量控制。采用数理统计等方法进行数据处理。DEM 高程数据选自美国 http://srtm. csi. cgiar. org/SELECTION/inputCoord. asp 网站提供栅格数据。

2.2　研究方法

2.2.1　气候倾向率法　气候倾向率反映气候要素的变化趋势,包括气温倾向率[℃·(10a)$^{-1}$]和降水量倾向率[mm·(10a)$^{-1}$],一般可采用一元线性回归方程的方法计算:

$$y = b + at, t = 1961, 1969, \cdots, 2016 (t\ 表示年份)$$

式中:b 为截距;a 为回归系数。当回归系数为正值时,表明要素 y 在计算时间内是线性增加,反之亦然;a×10 称为气候变化倾向率,其单位为所求要素单位每 10 a 变化。

2.2.2　M-K 突变检验　M-K 突变检验是一种无分布式检验方法,所选的样本中无需满足一定的分布原则,受其他因素影响较少,易于计算,能够反映样本的长期变化趋势和突变情况,是一种常用的突变检测方法[12]。在统计中,给定显著性水平 α,当 UF 及 UB 曲线在零界线范围之内存在交点,即正逆序列(UF 曲线与 UB 曲线)在置信区间有交叉点,可认为这一相交点显著,有突变出现。若无,即为无突变时刻。

2.2.3　Morlet 小波分析　小波分析(wavelet analysis)是一种具有时—频多分辨率功能的分析方法,能清晰揭示出隐藏在时间序列中的多种变化周期,充分反映系统在不同时间尺度的变化趋势,是研究气象要素长期变化的重要工具[13-15]。

2.2.4　气候要素空间插值方法　新疆地域辽阔,地形地貌复杂多样,气候要素的变化即会受到经度、纬度、海拔高度等宏观地理因子的影响,也会受到下垫面性状、城市热岛效应等局部小地形因子的影响。为了提高气温、降水的模拟精度,本文采用经陈鹏翔等[16]实际验证模拟精度较高的混合插值法(宏观地理因子的三维二次趋势面模拟 + 残差内插)对北疆的气温、降水以及气温、降水变化率进行 1 000 m × 1 000 m 栅格点的空间插值模拟[17-18]。

3　结果分析

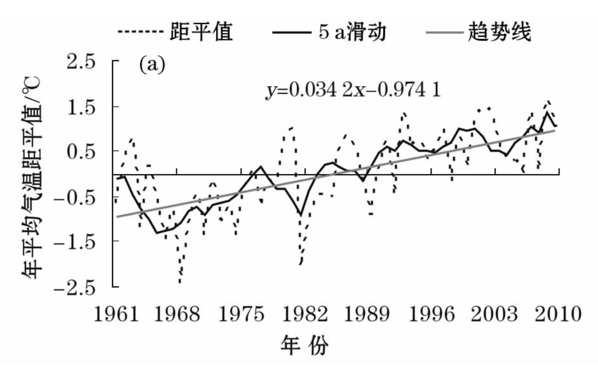
3.1　气候变化特征分析

3.1.1　气温　从研究区年气温平均距平值逐年变化看(图 2),近 56 a 平均气温为 5.8 ℃,气温波动上升。在研究时间段内,年平均气温最高记录为 2015 年 7.5 ℃,最低记录为 1970 年 3.3 ℃。整体反映出北疆地区半个世纪气温变化与全国变化趋势是一致

的,56 a 间气温增温率为 0.34 ℃·(10a)$^{-1}$,此结论比任国玉等[19]中国平均气温上升率 0.25 ℃·(10a)$^{-1}$的研究结论偏高。从 5 a 滑动平均值可见,1961—1970 年气温以下降为主,1969 年为最低值,此后主要以上升为主,其间有几次小的波动。

在研究时段内气温升高 1.9 ℃(表 1)。1991—2016 年气温的均值超过北疆地区 56 a 来的平均气温 5.8 ℃。就气温变化速率而言,20 世纪 60 年代气温以 -2.06 ℃·(10a)$^{-1}$的速率呈下降的趋势,其余时间均为上升的变化,以 20 世纪 90 年代最为显著[0.89 ℃·(10 a)$^{-1}$],其次为 70 年代 0.61 ℃·(10a)$^{-1}$、2001—2010 年的 0.38 ℃·(10a)$^{-1}$以及 80 年代 的0.36 ℃·(10a)$^{-1}$。研究区气温季节变化(图 3),四季的平均温度分别为:春季 7.94 ℃、夏季 21.01 ℃、秋季 6.73 ℃、冬季 -11.42 ℃。四季气温均表现为波动上升的趋势,但上升的幅度存在差异。其中冬季增温率最大,为 0.34 ℃·(10a)$^{-1}$,其次为春季增温率 0.28 ℃·(10a)$^{-1}$,再者为夏季增温率 0.16 ℃·(10a)$^{-1}$,最后为秋季增温率为 0.13 ℃·(10a)$^{-1}$。

3.1.2　降水　近 56 a 研究区平均年降水量为 195.5 mm,年降水量最高值为 1971 年的 333.3 mm,最低为 1962 年的 116.6 mm。年降水量整体呈现波动增加的趋势。图 4 降水量变化趋势线显示,降水量上升倾向率 12.05 mm·(10a)$^{-1}$,降水增加显著,这与任国玉等[19]在 2005 年对全国近 50 a 地面气候变化基本特征的研究得出的结论相同。其中,20 世纪 60—90 年代末降水量距平值以负值为主,21 世纪至



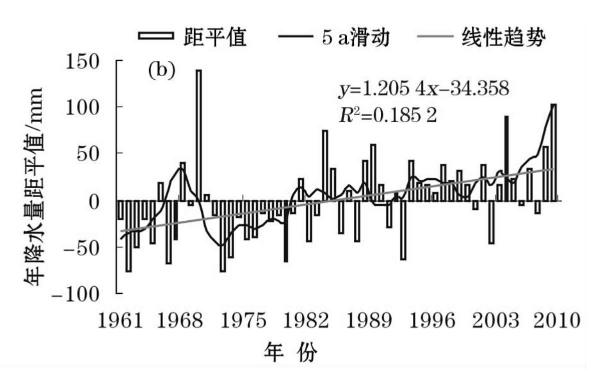


图 2　1961—2016 年北疆地区年平均气温、降水量距平值逐年变化

Fig. 2　Change of annual average temperature and precipitation anomaly in North Xinjiang during the period of 1961 -2016

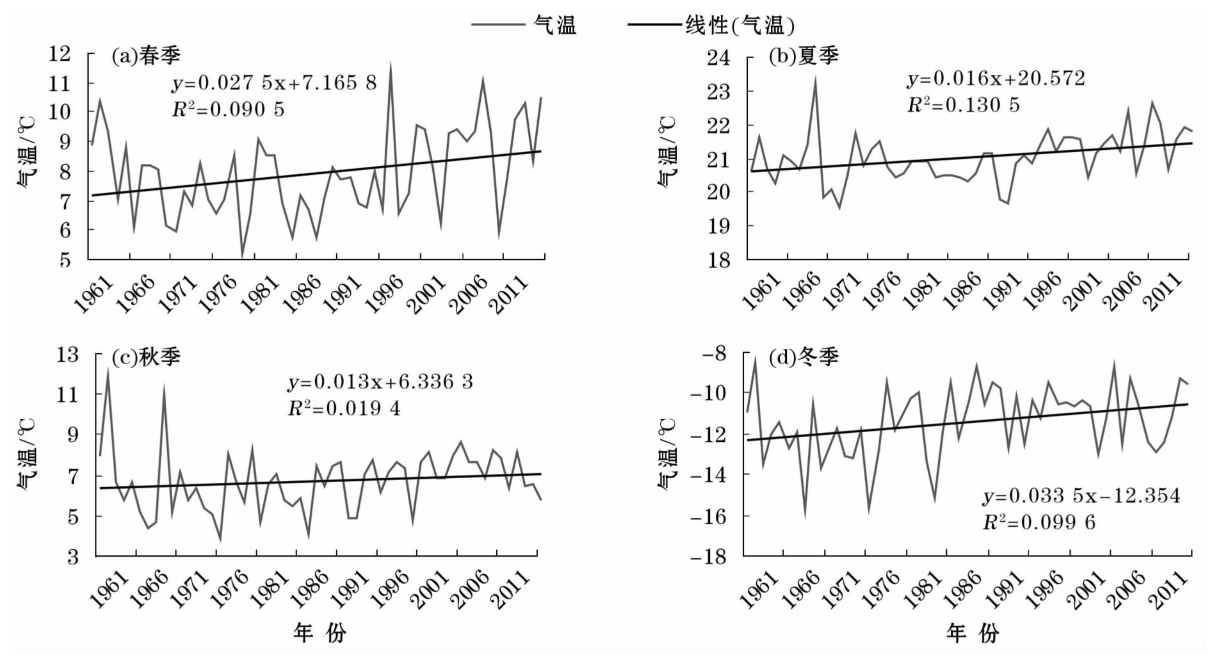


图 3　1961—2015 年北疆气温季节变化

Fig. 3　Seasonal change of temperature in North Xinjiang from 1961 to 2015

表1　北疆地区平均气温年际变化

Tab. 1　Interannual variation of mean temperature in North Xinjiang

年 代	年平均气温/℃	倾向率/〔℃·(10a)$^{-1}$〕
1961—1970	5.1	-2.06
1971—1980	5.2	0.61
1981—1990	5.6	0.36
1991—2000	6.1	0.89
2001—2010	6.5	0.38

表2　北疆地区平均降水量年际变化

Tab. 2　Interannual variation of average precipitation in North Xinjiang

年 代	年降水量/mm	倾向率/〔mm·(10a)$^{-1}$〕
1961-1970	166.4	54.47
1971—1980	178.9	-94.18
1981—1990	188.0	52.16
1991—2000	199.7	5.29
2001—2010	213.7	14.82

今年降水量距平值为正值。由5 a滑动曲线可以得出,年降水量呈现先增加后减少最后波动增加的趋势变化。

分析年降水量变化(表2)得出,自20世纪60年代至今增加了59.9 mm。在56 a间,90年代到21世纪降水量均值高于多年降水量的平均值195.5 mm。各年代降水量变化速率中除20世纪70年代为下降变化外,其他年代均表现为增加的变化,以20世纪60年代最为突出〔54.5 mm·(10a)$^{-1}$〕。分析北疆地区降水量季节变化得出(图4),在四季中夏季的降水量最大,为96.75 mm,其次是春季71.40 mm,秋季55.93 mm,冬季降水量最低,为30.26 mm。夏季的变化相对稳定,秋、冬季的降水量变化相对较大;各季节降水量的变化速率均表现为上升的趋势,其中变化的速率冬季最大,以4.10 mm·(10a)$^{-1}$的速率波动上升,夏季以3.86 mm·(10a)$^{-1}$的速率增加,秋季以2.38 mm·(10a)$^{-1}$的速率增加,春季以1.22 mm·(10a)$^{-1}$的速率增加。

3.2　气候突变分析

3.2.1　气温　Mann-Kendall突变检验结果显示(图5a),研究区1961—2016年平均气温*UF*曲线和*UB*曲线均表现为部分超出0.05显著性置信区间($U_{0.05}$=1.96),甚至超过0.001显著性水平($U_{0.001}$=2.56),说明气温变暖趋势显著。曲线*UF*自1963年后呈上升趋势,说明此后气温有升高的趋势,在1961—1963年平均气温则处于下降趋势;*UB*曲线在2009—2011年和2015—2016年这两段时间内处于下降趋势,其余年份均为上升趋势。曲线*UF*和曲线*UB*在0.05显著性临界线范围内存在一个交点,表明年平均气温在1991年存在显著的突变,在这段时间内气温发生了由冷变暖的突变。

3.2.2　降水量　图5b为北疆降水量突变检验结果,*UF*曲线在1963年后均位于0值以上,表明北疆自

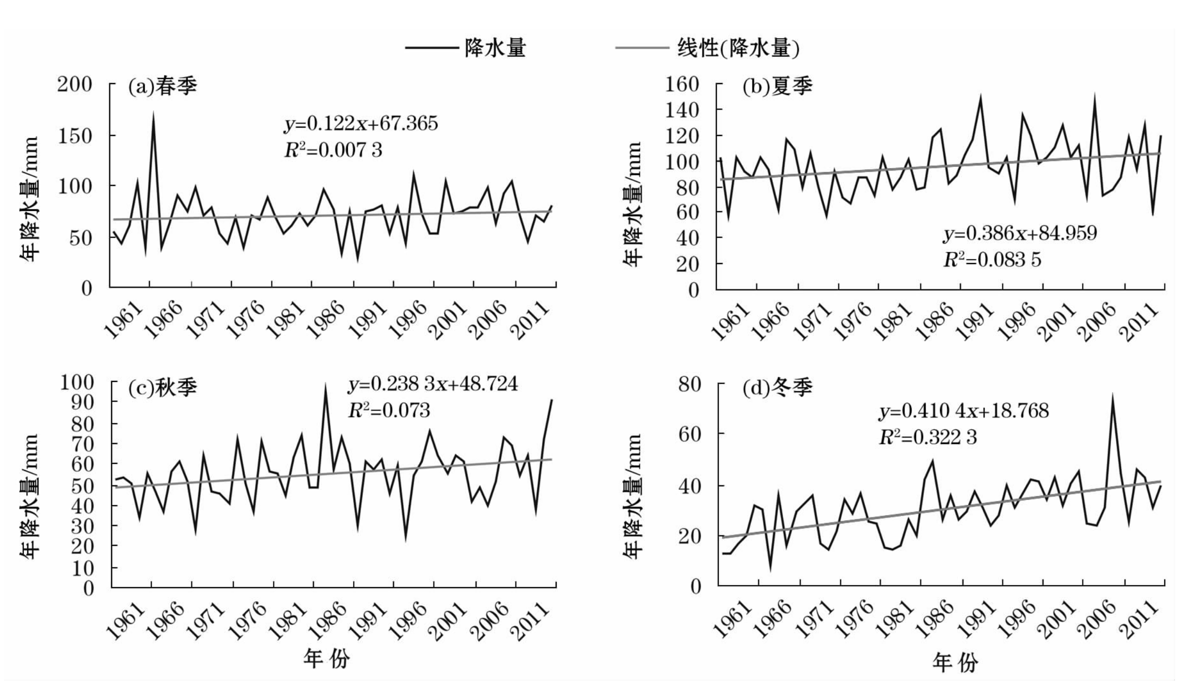


图4　1961—2015年北疆降水量季节变化

Fig. 4　Seasonal variation of precipitation in North Xinjiang from 1961 to 2015

1963 年后降水量序列呈上升趋势,1961—1962 年统计值小于 0,表明降水量趋于下降;*UB* 曲线完全处于 0 值以上。*UF* 在 20 世纪 90 年代后超出0. 05 显著性置信区间,上升趋势显著,*UB* 则在 1961—1982 年表现为显著的下降趋势;在置信区间内 *UF*、*UB* 存在 2 个相交的点,即 1985、1987 年,这 2 个相交的点为 56 a 北疆降水量可能的突变点,突变的时间段为 1961—1981 年和 1990—2016 年。对 2 个可能的突变点进行滑动 *t* 验证,1987 年才是真正的突变开始,是降水量由减少到逐渐增加的开始,另一突变点未能满足检验要求,故不能称其为突变点。

3.3 气候周期性分析

3.3.1 气温 Morlet 小波实部等值线图能清晰反映气候序列的多时间尺度变化,小波方差图则可以呈现序列变化的干扰强度和主周期[20]。从研究区气温 Morlet 小波分析(图 6a 气温)可见,该时间尺度上研究区年平均气温周期交替变化十分强烈,大尺度中又嵌套着小尺度。图 6 表明,北疆地区年平均气温变化具有 3 种尺度的周期,即 4 ~ 8 a、11 ~ 17 a 和 22 ~ 28 a,这与何毅等[8]研究的北疆气温的变化周期一致。小波方差图上,在 6 a、14 a 和 28 a 处小波方差出现峰值(图 6b 气温)。表明本区域在研究时段内年平均气温存在 6 a、14 a 和 28 a 的周期,其中以 28 a 周期最为显著,这 3 类周期决定了北疆地区年平均气温序列的周期性变化特征。

3.3.2 降水量 由图 7 北疆地区年降水量的小波分析可以看出,年降水量变动存在 4 ~ 6 a 、10 ~ 13 a 和 18 ~ 23 a 尺度的周期。由小波方差图(图 6b 降

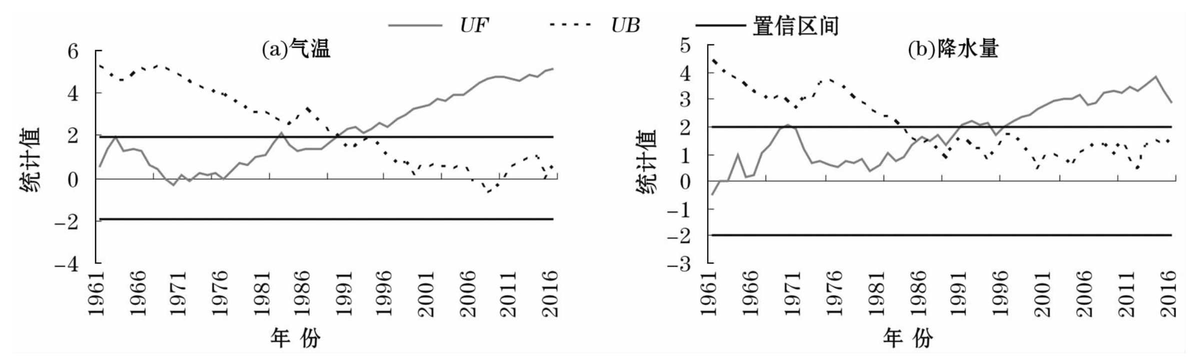
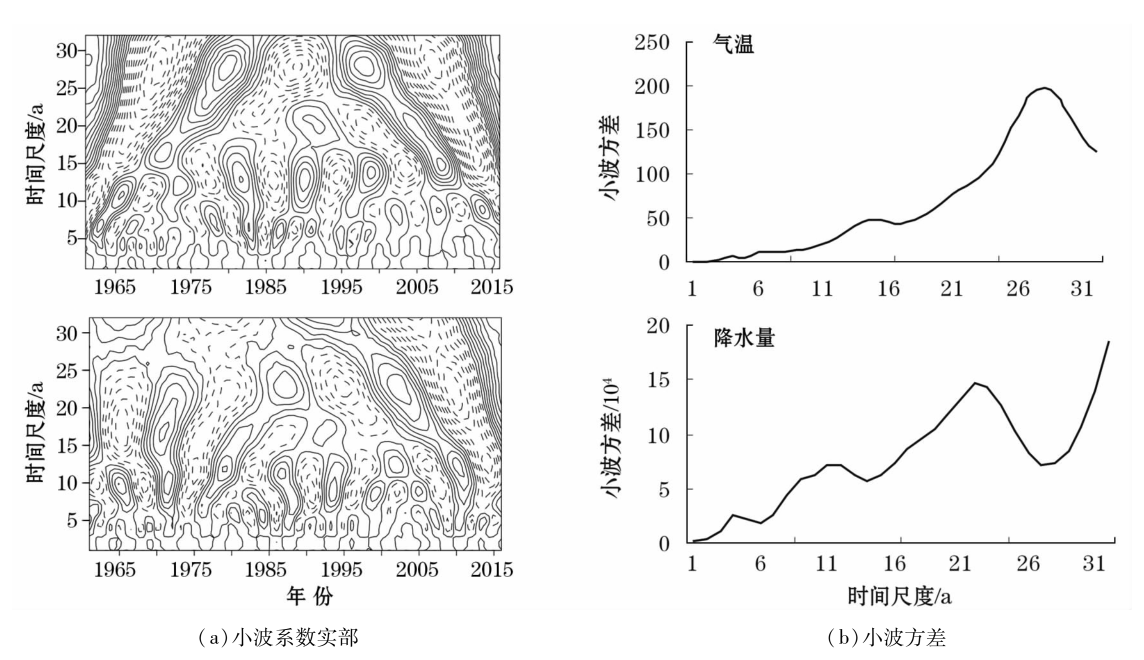


图 5 北疆地区气温、降水量突变检验

Fig. 5 Mutation test of temperature and precipitation in North Xinjiang



(a) 小波系数实部

(b) 小波方差

注:实线代表小波实部正值,虚线代表负值。

图 6 北疆地区年平均气温、降水量 Morlet 小波分析

Fig. 6 Morlet wavelet analysis of mean annual temperature and precipitation in North Xinjiang

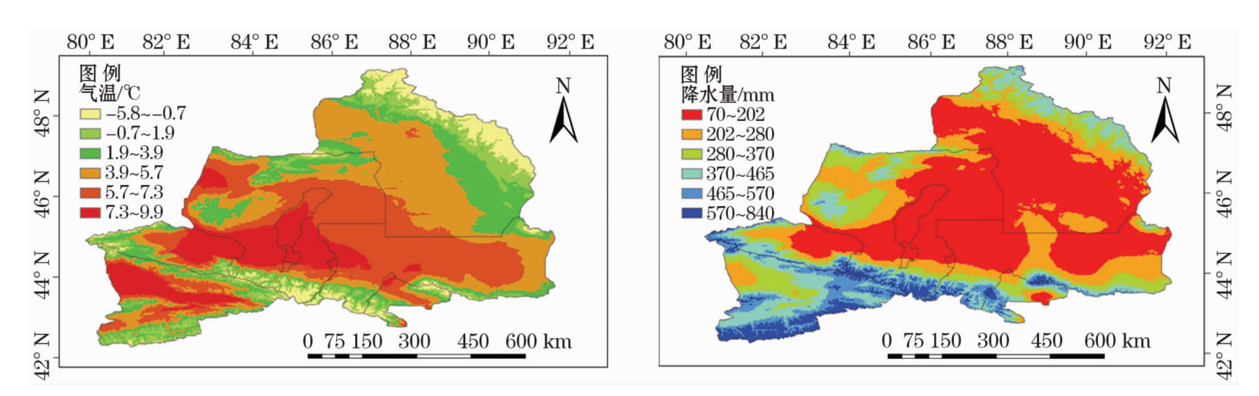


图 7　北疆地区各气象站点气温、降水量空间差异变化

Fig. 7　Variation of spatial differences of temperature and precipitation at various meteorological stations in North Xinjiang

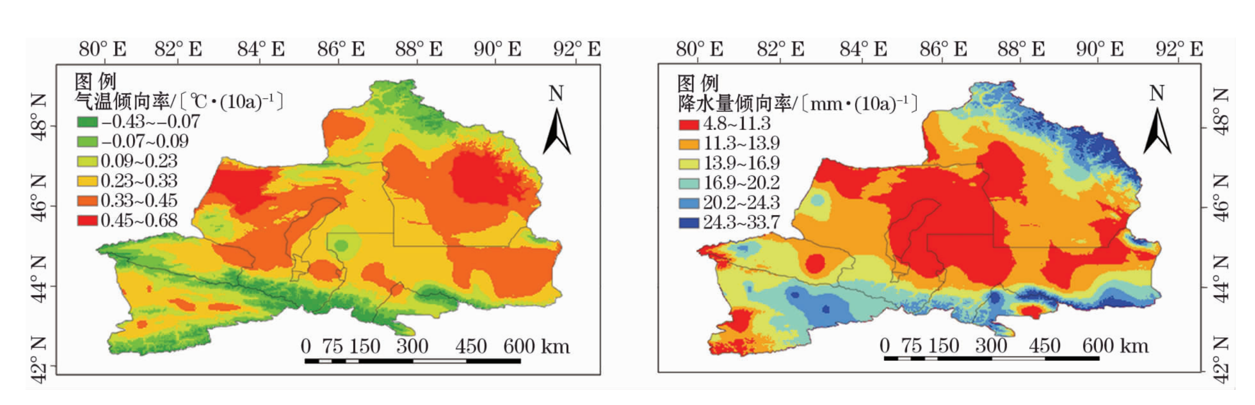


图 8　北疆地区各气象站点气温、降水量倾向率空间差异变化

Fig. 8　Spatial variations of temperature and precipitation rates at various meteorological stations in North Xinjiang

水量)可见,北疆地区在 1961—2016 年时间段内存在 4 a、12 a 和 22 a 周期,其中以 22 a 周期最显著,这与普宗朝等[21]研究新疆降水量变化的周期存在差异,可能是由于研究区、时段以及气象站点的选取方面存在着差异。各周期小波系数实部图(图 6a 降水量)表明,56 a 间北疆地区降水序列存在着周期性干湿交替的现象。从周期性交替的现象来看,目前研究区处于干湿交替的多雨期。

3.4　气候变化的空间差异

分析各站点气温分布(图 7)可见,研究区气温总体由中心向四周降低。气温高值中心出现在西南地区,主要以伊犁河谷和博尔塔拉蒙古自治州、塔城等地区为主;低值中心有阿勒泰地区的东北部和天山附近的山区。从图 8 可知,气温空间变化较为复杂,上升速率最显著的地区为阿勒泰地区东部和塔城地区西北部,阿勒泰北部、昌吉部分地区以及天池附近山区等的气温则表现为下降的趋势。降水量的空间分布山区多于平原和盆地,西南多于东北的格局。降水量变化规律呈现出天山以北由南向北逐渐递减。降水量较多的区域集中分布在伊犁河谷和天山北坡,这一结果与普宗朝等[21]研究的结果一致。降水量增加显著的地区分布在北疆的西南部和东南部,包括伊犁河谷、博尔塔拉蒙古自治州以及乌鲁木齐与昌吉州的部分山区。

4　结论与讨论

4.1　结论

(1) 近 56 a 北疆地区气温总的变化表现为波动上升的趋势,气温变化倾向率为 0.34 ℃·$(10a)^{-1}$。年降水量为 195.52 mm,以 12.05 mm·$(10a)^{-1}$的速率增加。

(2) 研究时段内气温在 1991 年发生了由冷到暖的突变。降水量在 1987 年呈现出由减少到逐渐增加的突变。

(3) 北疆地区年平均气温变化过程中的周期为 6 a、14 a 和 28 a,气温周期交替变化强烈。年降水量变化具有 4 a、12 a 和 22 a 周期,目前北疆地区处于多雨期。

(4) 气温变化的空间差异,北疆气温由中心向四周降低,降水表现为由南向北递减。气温上升最为显著的地区位于北疆地区西北部和东部部分地区,降水量增加最明显的地区是研究区东南和东北

的山区。

4.2 讨论

近半个世纪,北疆地区气温增加了1.9 ℃,且以0.34 ℃·(10a)$^{-1}$的速率上升;降水量以12.05 mm·(10a)$^{-1}$的速率增加且更为显著。这与李珍等[22]、毛炜峰等[23]研究的整个新疆气候变化趋势具有一致性。气温发生这种变化可能是由于大气中温室气体的含量有所增加,而温室气体的增加主要是受人类活动的影响。降水量分布与其特殊的地形条件有关。其次受北极涛动[24](55°N 地区之间的地面大气压力的周期性变化)、太阳活动[25]等的影响。近年来极端气候事件增加,使得降水出现了地区间的差异,自20世纪50年代以来,中国年降水处于缓慢减少的趋势,但对于西北干旱半干旱地区,近50 a是400多年来年降水量最丰沛的时期,而多雨期一般发生在气候剧烈变暖的近30 a[26]。另一方面,这种趋势可能与人类活动、城市化进程等有关。

北疆气温、降水组合优于南疆,因此其农业、畜牧业发展在全疆均具有重要地位。气候的暖湿化转变对农、牧业有重要的影响,气候变化将改变农作物种植区域及其产量的变化[10,27]。对于畜牧业而言其影响也是两面的,北疆气候的变化可能会引起一些极端气候事件的发生[28-29],这对畜牧业的发展是十分不利的;而对于降水较少的地区,气候的暖湿化对畜牧业的发展具有重要的意义。

参考文献(References):

〔1〕 Climate Change 2013:The Physical Science Basis:Working Group Icontribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Chang〔M〕. Cambridge:Cambridge University Press,2014.

〔2〕 Ji Fei,Wu Zhaohua,Huang Jianping,et al. Evolution of landsurface air temperature trend〔J〕. Nature Climate Change,2014,4(6):462-466.

〔3〕 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(1):中国气候变化的历史和未来趋势〔J〕. 气候变化研究进展,2006,2(1):3-8.〔Ding Yihui,Ren Guoyu,Shi Guangyu,et al. National assessment report ofclimate change(1):Climate change in China and itsfuture trend〔J〕. Advances in Climate Change Research,2006,2(1):3-8.〕

〔4〕 秦大河,陈振林,罗勇,等. 气候变化科学的最新认知〔J〕. 气候变化研究进展,2007,3(2):63-73.〔Qin Dahe,Chen Zhenlin,Luo Yong,et al. Updated understanding of climate change sciences〔J〕. Advances in Climate Change Research,2007,3(2):63-73.〕

〔5〕 王绍武,叶瑾琳,龚道溢. 近百年中国气温序列的建立〔J〕. 应用气象学报,1998,9(4):392-401.〔Wang Shaowu,Ye Jinlin,Gong Daoyi. Construction of mean annual temperature series for the last one hundred years in China〔J〕. Quarterly Journal of Applied Meteorology,1998,9(4):392-401.〕

〔6〕 Piao S L,Ciais P,Huang Y,et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China〔J〕. Nature,2010,467:43-51.

〔7〕 普宗朝,张山清. 1961—2008年新疆夏半年干湿气候时空变化〔J〕. 干旱区资源与环境,2011,25(9):138-144.〔Pu Zongchao,Zhang Shanqing. Spatial-temporal variationof dry-wet climate on summer in recent 48 years in Xinjiang〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2011,25(9):138-144.〕

〔8〕 何毅,杨太保,陈杰,等. 1955—2012年南北疆气温、降水及相对湿度趋势分析〔J〕. 水土保持研究,2015,22(2):269-277.〔He Yi,Yang Taibao,Chen Jie,et al. Long-term trend of temperature,precipitation and relative humidity in Northern and Southern regions of the Xinjiang from 1955 to 2012〔J〕. Research of Soil and Water Conservation,2015,22(2):269-277.〕

〔9〕 何毅,杨太保,陈杰,等. 1960—2013年南北疆风速变化特征分析〔J〕. 干旱区地理,2015,38(2):249-259.〔He Yi,Yang Taibao,Chen Jie,et al. Wind speed in the north and south Xinjiang from 1960 to 2013〔J〕. Arid Land Geography,2015,38(2):249-259.〕

〔10〕 李景林,普宗朝,张山清,等. 近52年北疆气候变化对棉花种植气候适宜性分区的影响〔J〕. 棉花学报,2015,27(1):22-30.〔Li Jinglin,Pu Zongchao,Zhang Shanqing,et al. Impact of climate change on cotton-planting zoning in Northern Xinjiang during 1961-2012〔J〕. Cotton Science,2015,27(1):22-30.〕

〔11〕 罗那那,巴特尔·巴克,吴燕锋. 基于标准化降水指数的北疆地区近52年旱涝变化特征〔J〕. 水土保持研究,2017,24(2):293-299.〔Luo Nana,Bartle Barker,Wu Yanfeng. Analysis on spatiotemporal characteristics of drought-flood based on standard precipitation index in Northern Xinjiang in recent 52 years〔J〕. Research of Soil and Water Conservation,2017,24(2):293-299.〕

〔12〕 邱海军,曹明明,刘闻. 基于EOF的陕西省降水变化时空分异研究〔J〕. 水土保持通报,2011,31(3):57-59.〔Qiu Haijun,Cao Mingming,Liu Wen. Analyzing spatial and temporal distributions of in Shaanxi province using empirical orthogonal function〔J〕. Bulletin of Soil and Water Conservation,2011,31(3):57-59.〕

〔13〕 刘贤赵,张安定,李嘉竹. 地理学数学方法〔M〕. 北京:科学出版社,2009:127-138.〔Liu Xianzhao,Zhang Anding,Li Jiazhu. Mathematical Methods of Geography〔M〕. Beijing:Science Press,2009:127-138.〕

〔14〕 申倩倩,束炯,王行恒. 上海地区近136年气温和降水量变化的多尺度分析〔J〕. 自然资源学报,2011,26(4):644-654.〔Shen Qianqian,Shu Jiong,Wang Xingheng. Multiple time scales analysis of temperature and precipitation variation in Shanghai for the recent 136 years〔J〕. Journal of Natural Resources,2011,26(4):644-654.〕

〔15〕 刘晓琼,刘彦随,李同昇,等. 1974—2012年陕西省榆林市气候变化统计特征〔J〕. 中国沙漠,2016,36(2):1-6.〔Liu Xiaoqiong,Liu Yansui,Li Tongsheng,et al. Statistical characteristics of climate change during 1974-2012 in Yulin,Shaanxi,China〔J〕. Journal of Desert Research,2016,36(2):1-6.〕

〔16〕 陈鹏翔,毛炜峄. 基于GIS的新疆气温数据栅格化方法研究〔J〕. 干旱区地理,2012,35(3):438-445.〔Chen Pengxiang,Mao Weiyi. GIS-based spatial interpolation of air temperature in Xinjiang Based on GIS〔J〕. Arid Land Geography,2012,35(3):438-445.〕

〔17〕 普宗朝,张山清,宾建华,等. 新疆乌—昌地区干湿气候要素时空变化分析〔J〕. 资源科学,2011,33(12):2 314-2 322.〔Pu

Zongchao, Zhang Shanqing, Bin Jianhua, et al. Spatiotemporal variations in dry-wet climatic variables over Urumqi-Changji Region of Xinjiang〔J〕. Resources Science, 2011, 33(12):2 314 - 2 322.〕

〔18〕周秉荣,颜亮东,张海静,等. 热量资源栅格化技术在青海高原地区的应用〔J〕. 青海气象, 2010(2):10 - 15.〔Zhou Bingrong, Yan Liangdong, Zhang Haijing, et al. Application of thermal resource rasterization technology in Qinghai Plateau〔J〕. Qinghai Meteorology, 2010(2):10 - 15.〕

〔19〕任国玉,郭军,徐铭志,等. 近 50 中国地面气候变化基本特征〔J〕. 气象学报, 2005, 63(6):943 - 956.〔Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi, et al. Climate changes of China's main land over the past half century〔J〕. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(6):943 - 956.〕

〔20〕潘国营,秦永泰,马亚芬,等. 基于 R/S 和 Morlet 小波分析的丹河径流变化特征研究〔J〕. 水资源与水工程学报, 2015, 26(3):41 - 45, 50.〔Pan Guoying, Qin Yongtai, Ma Yafen, et al. Research on variation characteristics of runoff in Danhe river basin based on R/S and Morlet wavelet analysis〔J〕. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2015, 26(3):41 - 45, 50.〕

〔21〕普宗朝,张山清,王胜兰,等. 近 48 a 新疆干湿气候时空变化特征〔J〕. 中国沙漠, 2011, 31(6):1 563 - 1 572.〔Pu Zongchao, Zhang Shanqing, Wang Shenglan, et al. The spatial-temporal variation characteristics of dry-wet climate in recent 48 years in Xinjiang province, China〔J〕. Journal of Desert Research, 2011, 31(6):1 563 - 1 572.〕

〔22〕李珍,姜逢清. 1961—2004 年新疆气候突变分析〔J〕. 冰川冻土, 2007, 29(3):351 - 359.〔Li Zhen, Jiang Fengqing. A study of abrupt climate change in Xinjiang region during 1961 - 2004〔J〕. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(3):351 - 359.〕

〔23〕毛炜峄,陈鹏翔,白素琴. 增暖趋势对新疆冬季气温预测效果的影响〔J〕. 干旱区研究, 2014, 31(5):882 - 890.〔Mao Weiyi, Chen Pengxiang, Bai Suqin. Influence of warming trend on the predicted temperature in winter in Xinjiang〔J〕. Arid Zone Research, 2014, 31(5):882 - 890.〕

〔24〕关学锋,孙卫国,李敏姣,等. 1965—2012 年新疆北部地区气候变化及其对北极涛动的响应〔J〕. 干旱区研究, 2016, 33(4):681 - 689.〔Guan Xuefeng, Sun Weiguo, Li Minjiao, et al. Climate change in Northern Xinjiang and its response to arctic oscillation during the period of 1965 - 2012〔J〕. Arid Zone Research, 2016, 33(4):681 - 689.〕

〔25〕王涛,霍彦峰,罗艳. 近 300 a 来天山中西部降水与太阳活动的小波分析〔J〕. 干旱区研究, 2016, 33(4):708 - 717.〔Wang Tao, Huo Yanfeng, Luo Yan. Precipitation and sunspots in the central-west Tianshan Mountains in recent 300 years〔J〕. Arid Zone Research, 2016, 33(4):708 - 717.〕

〔26〕杨金虎,江志红,魏锋,等. 近 45 a 来中国西北年极端高、低温的变化及对区域性增暖的响应〔J〕. 干旱区地理, 2006, 29(5):625 - 631.〔Yang Jinhu, Jiang Zhihong, Wei Feng, et al. Variability of extreme hightemperature and low temperature and their response to regional warming in Northwest China in recent 45 years〔J〕. Arid Land Geography, 2006, 29(5):625 - 631.〕

〔27〕张山清,普宗朝,李景林,等. 气候变暖背景下新疆无霜冻期时空变化分析〔J〕. 资源科学, 2013, 35(9):1 908 - 1 916.〔Zhang Shanqing, Pu Zongchao, Li Jinglin, et al. The impact of global warming on frost-free periods from 1961 to 2010 in warming〔J〕. Resources Science, 2013, 35(9):1 908 - 1 916.〕

〔28〕韩颖,侯向阳. 内蒙古荒漠草原牧户对气候变化的感知和适应〔J〕. 应用生态学报, 2011, 22(4):913 - 922.〔Han Ying, Hou Xiangyang. Perceptions and adaptation strategies of herders in desert steppe of Inner Mongolia to climate change〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(4):913 - 922.〕

〔29〕刘伟,姜逢清,李小兰. 新疆气候变化的适应能力时空演化特征〔J〕. 干旱区研究, 2017, 34(3):531 - 540.〔Liu Wei, Jiang Fengqing, Li Xiaolan. Spatiotemporal evolution of adaptive capacity to climate change in Xinjiang〔J〕. Arid Zone Research, 2017, 34(3):531 - 540.〕

Climate Change in North Xinjiang in Recent 56 Years

ZHANG Yang, CHU Xin-zheng, YANG Shao-min, GUO Chao

(*College of Geography Science and Tourism*, *Xinjiang Normal University*, *Urumqi* 830054, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: The mathematical statistics, trend rate method, Mann-Kendall mutation test and wavelet analysis were used to study the characteristics, trends and spatial difference of climate change in North Xinjiang in the past 56 years based on the daily temperature and precipitation data from 40 stations in North Xinjiang from 1961 to 2016. The results showed that, during the study period, there was generally a warming-wetting climate change trend. The annual average temperature increased by 0.34 ℃ · $(10a)^{-1}$, and the increase rate of annual precipitation was 12.05 mm · $(10a)^{-1}$. Mann-Kendall mutation test showed that the temperature increased after 1991, and the precipitation increased gradually after its mutation in 1987; there were the 6 -, 14 - and 28 - year periodical changes of annual mean temperature, and the 4 -, 12 - and 22 - year ones of annual precipitation. In terms of spatial differences, the temperature increase was higher in the east and west than that in the north and south, and the precipitation increase was higher in the mountainous regions than that in the plains and basins and higher in the west than that in the east.

Key words: climate change; linear trend analysis; M-K mutation test; Morlet wavelet analysis; hybrid interpolation; Northern Xinjiang